This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images, please do not report the images to the Image Problem Mailbox.

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(10) **DE 202 10 042 U 1**

(51) Int. Cl.[7]:
F 15 B 13/044
F 16 K 31/02

(21) Aktenzeichen: 202 10 042.1
(22) Anmeldetag: 28. 6. 2002
(47) Eintragungstag: 26. 9. 2002
(43) Bekanntmachung im Patentblatt: 31. 10. 2002

DE 202 10 042 U1

(73) Inhaber:
FESTO AG & Co., 73734 Esslingen, DE

(74) Vertreter:
Patentanwälte Magenbauer, Reimold, Vetter & Abel, 73730 Esslingen

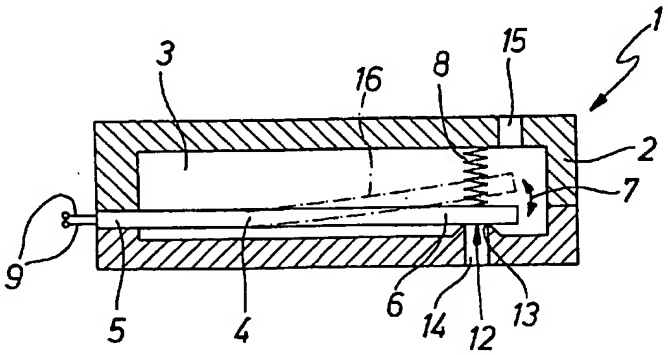
(56) Recherchenergebnisse nach § 7 Abs. 2 GbmG:

DE	42 31 734 A1
US	48 22 959
EP	11 58 182 A1
EP	05 47 022 A1

JP 03244552 A.,In: Patent Abstracts of Japan;

(54) Piezoelektrische Aktoreinrichtung

(57) Piezoelektrische Aktoreinrichtung, insbesondere Piezoventil, mit einem Piezo-Biegeelement (4), das bei seiner Betätigung ausgehend von einer Grundstellung entgegen der Kraft von Rückstell-Federmitteln (8) ausgelenkt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückstell-Federmittel (8) zumindest partiell eine negative Federrate aufweisen.



DE 202 10 042 U1

G 22052 - leps
15. Mai 2002

FESTO AG & Co, 73734 Esslingen

Piezoelektrische Aktoreinrichtung

Die Erfindung betrifft eine piezoelektrische Aktoreinrichtung, insbesondere Piezoventil, mit einem Piezo-Biegeelement, das bei seiner Betätigung ausgehend von einer Grundstellung entgegen der Kraft von Rückstell-Federmitteln ausgelenkt wird.

Bei einer in der EP 0 547 022 A1 beschriebenen, als Piezoventil ausgebildeten piezoelektrischen Aktoreinrichtung dieser Art ist ein einenends eingespanntes Piezo-Biegeelement vorgesehen, das durch Rückstell-Federmittel in eine die Grundstellung bildende Schließstellung vorgespannt ist, in der es an einem eine Ventilöffnung umschließenden Ventilsitz anliegt. Zum Freigeben der Ventilöffnung wird das Piezo-Biegeelement elektrisch aktiviert, so dass es im Bereich seines freien Endes eine Auslenkung entgegen der Kraft der Rückstell-Federmittel erfährt und die Ventilöffnung freigibt.

Bei einer ebenfalls als Piezoventil ausgebildeten Aktoreinrichtung gemäß EP 1 158 182 A1 ist ebenfalls ein Piezo-Biegeelement als Aktor zur Betätigung mindestens einer einer zu steuernden Ventilöffnung zugeordneten Ventilschließfläche vorgesehen. Anders als im Falle der EP 0 547 022 A1 befindet

sich die Ventilschließfläche hier allerdings nicht unmittelbar am Piezo-Biegeelement, sondern an einem mit dem Piezo-Biegeelement bewegungsgekoppelten wippenartigen Steuerglied.

In beiden Fällen ergibt sich eine gewisse Problematik aus dem Umstand, dass die Stellkraft von Piezo-Biegeelementen typischerweise mit zunehmendem Auslenkweg abnimmt. Da durch die Stellkraft des Piezo-Biegeelementes die entgegengesetzt wirkende Kraft der Rückstell-Federmittel überwunden werden muss, beträgt der tatsächlich mögliche Verstellweg nur einen Bruchteil des maximal möglichen. Dadurch wird der steuerbare Strömungsquerschnitt und mithin der mögliche Durchfluss begrenzt.

Eine Reduzierung der Federkraft zur Behebung der Problematik ist nicht ohne weiteres möglich, da sich dies auf die Schließkraft und somit auf die zu steuernden Fluiddrücke negativ auswirkt.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine piezoelektrische Aktoreinrichtung der eingangs genannten Art zu schaffen, deren Piezo-Biegeelement trotz Vorspannung in die Grundstellung einen großen Verstellweg ermöglicht.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist vorgesehen, dass die Rückstell-Federmittel zumindest partiell eine negative Federrate aufweisen.

Auf diese Weise arbeitet die Stellkraft des Piezo-Biegeelementes gegen eine sich mit zunehmender Auslenkung der Rückstell-Federmittel verringernde Federkraft. Da das Piezo-Biegeelement prinzipbedingt anfänglich hohe Stellkräfte aufbauen kann, ist es in der Lage, bei der Auslenkung aus seiner Grundstellung selbst hohe Federkräfte zu überwinden. Dies ermöglicht es, das Piezo-Biegeelement mit großer Federkraft in die Grundstellung vorzuspannen. Mit zunehmender Auslenkung verringert sich zwar die Stellkraft des Piezo-Biegeelementes. Dies wird jedoch weitgehend durch die sich ebenfalls verringernde Rückstellkraft der Rückstell-Federmittel kompensiert. Das Piezo-Biegeelement arbeitet praktisch gegen Rückstell-Federmittel mit zumindest partiell abfallender Kraft-Weg-Kennlinie.. Somit kann die mechanische Energie des Piezo-Biegeelementes besser genutzt werden. Bei Anwendungen auf dem Ventilsektor kann dieses Verhalten genutzt werden, um in der Grundstellung eine Ventilöffnung gegen hohe Druckkräfte fest geschlossen zu halten bzw. um größere Ventilöffnungen bei gleichem Druck verschlossen zu halten, in Verbindung mit der Möglichkeit einen großen Verstellweg des Piezo-Biegeelementes zu realisieren.

Der auf der negativen Federrate basierende vorteilhafte Effekt lässt sich bereits dann nutzen, wenn die Rückstell-Federmittel nur partiell über eine negative Federrate verfügen. Dabei wird es als zweckmäßig angesehen, die Rückstell-Federmittel so auszubilden, dass die Federrate zumindest zum

Ende des möglichen Federweges hin negativ ist. Als derzeit optimal wird eine durchgehend negative Federrate angesehen.

Da die Kraft-Weg-Kennlinie eines Piezo-Biegeelementes in der Regel zumindest annähernd linear ist, empfiehlt es sich, auch die mit negativer Steigung versehene Federkennlinie mit linearem Verlauf auszubilden. Um besondere Effekte zu erzielen, kann von Fall zu Fall jedoch auch ein nicht linearer Verlauf zweckmäßig sein, insbesondere eine degressive Federkennlinie mit negativer Federrate.

Vorzugsweise wird die Federkennlinie so gewählt, dass sie die Kraft-Weg-Kennlinie des Piezo-Biegeelementes niemals schneidet.

Zur Realisierung der Federcharakteristik mit negativer Federrate kommen bevorzugt Rückstell-Federmittel zum Einsatz, die von einer blattfederartig flachen Wendelfeder mit Kniehebelcharakteristik gebildet sind. Allerdings können auch andere Bauarten verwendet werden, beispielsweise solche, wie sie in der US 4 822 959 beschrieben sind, auf deren Inhalt hiermit Bezug genommen wird.

Der Erfindung kann bei beliebigen piezoelektrischen Aktoreinrichtungen eingesetzt werden. Die Aktoreinrichtung kann beispielsweise eine Bremseinrichtung sein, bei der das Piezo-Biegeelement als Aktor zur Betätigung eines Bremsbelages fungiert. Von besonderem Vorteil ist die Erfindung jedoch bei

einer als Piezoventil ausgebildeten Aktoreinrichtung, bei der das Piezo-Biegeelement zur Betätigung einer einer Ventilöffnung zugeordneten Ventilschließfläche vorgesehen ist. Dabei sind unterschiedliche Ventilkonzepte möglich, beispielsweise solche, bei denen das Piezo-Biegeelement unmittelbar mit der Ventilschließfläche ausgestattet ist oder solche, bei denen das Piezo-Biegeelement mit einem seinerseits mindestens eine Ventilschließfläche tragenden Steuerglied zusammenarbeitet.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand der beiliegenden Zeichnung näher erläutert. In dieser zeigen:

Figur 1 in schematischer Darstellung einen Längsschnitt durch eine mögliche erste Bauform der erfindungsgemäßen piezoelektrischen Aktoreinrichtung,

Figur 2 eine vergrößerte Teildarstellung der Aktoreinrichtung aus Fig. 1 im Bereich des Zusammenwirkens des Piezo-Biegeelementes mit den Rückstell-Federmitteln,

Figur 3 wiederum in einer schematischen Längsschnittdarstellung eine weitere mögliche Bauform der erfindungsgemäßen Aktoreinrichtung,

Figur 4 ein Kennliniendiagramm, wie es bei der erfindungsgemäßen Aktoreinrichtung auftreten kann, und

Figur 5 zum Vergleich ein Kennliniendiagramm des Standes der Technik.

Die Figuren 1 bis 3 zeigen piezoelektrische Aktoreinrichtungen, die als Piezoventile 1 ausgebildet sind. Obgleich die Erfindung auch für andere Arten von Aktoreinrichtungen geeignet ist, ist sie jedoch im Zusammenhang mit Piezoventilen besonders vorteilhaft.

Die Piezoventile 1 verfügen über ein Gehäuse 2, das eine Ventilkammer 3 definiert. In der Ventilkammer 3 befindet sich ein längliches Piezo-Biegeelement 4, das am rückwärtigen Endbereich 5 gehäusefest eingespannt ist.

Das Piezo-Biegeelement 4 ist ein aus piezoelektrischem Material bestehender balkenartiger Biegewandler, der beim Anlegen einer Spannung an seinem vorderen Endbereich 6 quer zu seiner Längsachse ausgelenkt wird. Auf diese Weise kann das Piezo-Biegeelement 4 zu einer durch Doppelpfeil angedeuteten Schwenk- oder Auslenkbewegung 7 veranlasst werden. Zum Anlegen der elektrischen Spannung sind aus dem Gehäuse 2 mit dem Piezo-Biegeelement 4 verbundene elektrische Leiter 9 herausgeführt.

Der Aufbau des Piezo-Biegeelementes 4 kann beispielsweise demjenigen entsprechen, wie er in der EP 1 158 182 A1 beschrieben ist.

Im deaktivierten Zustand nimmt das Piezo-Biegeelement 4 die in Figuren 1 und 3 in durchgezogenen Linien abgebildete

Grundstellung ein. In dieser Grundstellung wird es durch vorgespannte Rückstell-Federmittel 8 festgehalten.

Bei dem Piezoventil 1 gemäß Figur 1 entspricht die Grundstellung des Piezo-Biegeelementes 4 einer Schließstellung, in der das Piezo-Biegeelement 4 mit einer an ihm vorgesehenen Ventilschließfläche 12 eine in die Ventilkammer 3 mündende Ventilöffnung 13 dicht verschließt. Die Ventilöffnung 13 gehört zu einem das Gehäuse 2 durchsetzenden ersten Ventilkanal 14, der an eine Druckquelle angeschlossen sein kann. Die Ventilöffnung 13 ist zweckmäßigerweise von einem erhabenen ringförmigen Ventilsitz umgeben, gegen den die Ventilschließfläche 12 des Piezo-Biegeelementes 4 durch die Kraft der Rückstell-Federmittel vorgespannt ist.

Ein zweiter Ventilkanal 15 mündet ebenfalls in die Ventilkammer 3. Er kann beispielsweise mit einem anzusteuernden Verbraucher verbunden werden.

In der Schließstellung des Piezo-Biegeelementes 4 ist die Verbindung zwischen den beiden Ventilkanälen 14, 15 unterbrochen. Bedingt durch die Vorspannkraft der Rückstell-Federmittel 8, die ausreichend hoch gewählt wird, ist der über die Ventilöffnung 13 auf das Piezo-Biegeelement 4 einwirkende Fluiddruck nicht in der Lage, das Piezo-Biegeelement 4 wegzudrücken.

Um eine Fluidverbindung zwischen den beiden Ventilkanälen 14, 15 herzustellen, wird das Piezo-Biegeelement 4 aktiviert, so dass es entgegen der Kraft der Rückstell-Federmittel 8 in eine strichpunktiert bei 16 angedeutete betätigte Stellung ausgelenkt wird. Es handelt sich bei der betätigten Stellung 16 um eine Offenstellung, bei der das Piezo-Biegeelement 4 und somit die Ventilschließfläche 12 vom zugeordneten Ventilsitz abgehoben ist, so dass das am ersten Ventilkanal 14 eingespeiste Druckmedium durch die Ventilkammer 3 hindurch zum zweiten Ventilkanal 15 überströmen kann.

Wird das Piezo-Biegeelement 4 deaktiviert und somit entladen, erfolgt durch die Rückstell-Federmittel 8 ein Zurückstellen in die Grundstellung.

Während das Piezoventil gemäß Figur 1 als 2/2-Wegeventil ausgebildet ist, handelt es sich bei dem Piezoventil 1 der Figur 3 um ein 3/2-Wegeventil.

Das in Figur 3 gezeigt Piezoventil 1 ist mit zwei steuerbaren Ventilöffnungen 13a, 13b ausgestattet. Die erste Ventilöffnung 13a kommuniziert mit einem ersten Ventilkanal 14a, die zweite Ventilöffnung 13b mit einem zweiten Ventilkanal 14b. Zusätzlich ist ein dritter Ventilkanal 14c vorgesehen, der ständig mit der Ventilkammer 3 verbunden ist.

Bei einer üblichen Betriebsweise ist der dritte Ventilkanal 14c ein mit einem anzusteuernden Verbraucher verbindbarer Ar-

beitskanal. Der erste Ventilkanal 14a ist ein mit einer Druckquelle verbindbarer Speisekanal und der zweite Ventilkanal 14b ist ein Abführkanal.

Das Piezoventil 1 gemäß Figur 3 wird, wie auch das der Figur 1, bevorzugt mit Druckluft betrieben. Es handelt sich dann bei dem Abführkanal 14b um einen Entlüftungskanal.

Den beiden Ventilöffnungen 13a, 13b liegt jeweils eine eigene Ventilschließfläche 12a, 12b im Innern der Ventilkammer 3 gegenüber. Diese Ventilschließflächen 12a, 12b sind an einem bezüglich dem Piezo-Biegeelement 4 gesondert ausgebildeten beweglichen Steuerglied 17 vorgesehen.

Das Steuerglied 17 ist bevorzugt wippenartig ausgebildet. An einer Schwenklagerstelle 18 ist es relativ zum Gehäuse 2 gemäß Doppelpfeil 22 verschwenkbar gelagert. Die beiden Ventilschließflächen 12a, 12b sind an dem Steuerglied 17 auf entgegengesetzten Seiten der Schwenklagerstelle 18 angeordnet, wobei sie zur gleichen Längsseite weisen. Dementsprechend befinden sich auch die beiden Ventilöffnungen 13a, 13b beidseits der Schwenklagerstelle 18 auf der gleichen Seite des Piezo-Biegeelementes 4.

An einer Koppelstelle 23 ist das schwenkbewegliche Steuerglied 17 mit dem Piezo-Biegeelement 4 in beiden Verstellrichtungen bewegungsgekoppelt. Die Koppelstelle 23 befindet sich

zweckmäßigerweise am vorderen Endbereich 6 des Piezo-Biegeelementes 4.

Während bei dem Piezoventil 1 gemäß Figur 1 die sich einerseits am Gehäuse 2 abstützenden Rückstell-Federmittel 8 andererseits unmittelbar mit dem Piezo-Biegeelement 4 zusammenwirken, kooperieren sie bei dem Piezoventil 1 gemäß Figur 3 mit dem Steuerglied 17. Durch die Rückstell-Federmittel 8 wird das Steuerglied 17 in eine in Figur 3 in durchgezogenen Linien dargestellte erste Schaltstellung vorgespannt, in der die erste Ventilschließfläche 12a an dem die erste Ventilöffnung 13a umschließenden Ventilsitz fest anliegt und somit die erste Ventilöffnung 13a dicht verschließt. Hierbei ist gleichzeitig die zweite Ventilschließfläche 12b von der zweiten Ventilöffnung 13b entfernt, so dass von einem an den dritten Ventilkanal 14c angeschlossenen Verbraucher zurückströmendes Druckmedium durch die Ventilkammer 3 hindurch über den Abführkanal 14b abströmen kann. In dieser ersten Schaltstellung befindet sich das Piezo-Biegeelement 4 in seiner Grundstellung.

Durch Aktivieren des Piezo-Biegeelementes 4 wird dessen vorderer Endbereich 6 ausgelenkt, so dass das damit bewegungsgekoppelte Steuerglied 17 gemäß Doppelpfeil 22 verschwenkt wird und in eine strichpunktiert angedeutete zweite Schaltstellung umschaltet, in der die erste Ventilöffnung 13a freigegeben und die zweite Ventilöffnung 13b verschlossen ist. Nun kann über den ersten Ventilkanal 14a eingespeistes Druckmedium

durch die Ventilkammer 3 hindurch zum Arbeitskanal 14c und einem daran angeschlossenen Verbraucher ausströmen.

Bei diesem Umschaltvorgang in die zweite Schaltstellung werden die Rückstell-Federmittel 8 komprimiert. Beim anschließenden Deaktivieren des Piezo-Biegeelementes 4 können sie dazu beitragen, das Steuerglied 17 in die erste Schaltstellung zurückzuschalten. Durch die geschilderte Bewegungskopplung zwischen dem Piezo-Biegeelement 4 und dem Steuerglied 17 wird allerdings gewährleistet, dass das Piezo-Biegeelement 4 beim Zurückkehren in die Grundstellung das Steuerglied 17 mitnimmt und aktiv in die erste Schaltstellung zurückschaltet.

Besondere Vorteile der Piezoventile 1 resultieren daraus, dass die Rückstell-Federmittel 8 zumindest partiell mit negativer Federrate ausgebildet sind. Die Bauform bei den Ausführungsbeispielen sieht eine insgesamt negative Federrate der Rückstell-Federmittel 8 vor. Dadurch wird erreicht, dass die Rückstellkraft der Rückstell-Federmittel 8 bei zunehmender Federauslenkung anders als bei Stand der Technik nicht zunimmt, sondern abnimmt.

Anfänglich, wenn sich das Piezo-Biegeelement 4 in der Grundstellung befindet, wird die betreffende Ventilschließfläche 12, 12a mit hoher Federkraft gegen den Ventilsitz der zugeordneten ersten Ventilöffnung 13, 13a angedrückt. Hier kann eine sehr hohe Federvorspannung vorgesehen werden, die ein Verschließen der betreffenden Ventilöffnung 13, 13a auch dann

gewährleistet, wenn an letzterer ein hoher Druck ansteht und/oder wenn der Querschnitt der Ventilöffnung relativ groß ist.

Aufgrund seiner anfänglich hohen Stellkraft ist das Piezo-Biegeelement 4 ohne weiteres in der Lage, bei seiner Aktivierung entgegen der hohen Rückstellkraft ausgelenkt zu werden.

Da die Federkraft mit zunehmender Auslenkung der Rückstell-Federmittel abnimmt, ist das Piezo-Biegeelement 4 zudem in der Lage, trotz seiner mit zunehmender Auslenkung abfallenden Stellkraft die Rückstellkraft der Rückstell-Federmittel 8 weiter zu überwinden, so dass es sehr weit ausgelenkt werden kann. Dies ermöglicht sehr große Ventilhübe, was eine hohe Durchflussleistung zur Folge hat.

Der geschilderte Effekt wird bei einem Vergleich der in Figuren 4 und 5 gezeigten Kennliniendiagramme besonders deutlich.

Die Figur 5 zeigt ein Kennliniendiagramm eines typischen Piezoventiles des Standes der Technik, bei dem das Piezo-Biegeelement 4 durch Rückstell-Federmittel beaufschlagt wird, die eine lineare Kennlinie mit positiver Federrate aufweisen. Im Gegensatz dazu zeigt die Figur 4 eine erfindungsgemäße Bauform, bei der Rückstell-Federmittel 8 zum Einsatz kommen, die zwar ebenfalls über eine lineare Federkennlinie verfügen, welche jedoch eine negative Steigung hat, so dass also eine negative Federrate vorliegt.

In beiden Diagrammen ist bei 24 die Kraft-Weg-Kennlinie eines typischen Piezo-Biegeelementes gezeigt, die einen im wesentlichen linearen Verlauf mit negativer Steigung besitzt.

Zusätzlich ist bei 25 die Federkennlinie der zur Anwendung kommenden Rückstell-Federmittel eingezeichnet.

Exemplarisch liegt die Vorspannkraft F_v der Rückstell-Federmittel, die gemäß Figur 5 zum Schließen des zugeordneten Ventilsitzes dient, bei 0,4 N. Durch den Schnittpunkt S der beiden Kennlinien 24, 25 ergibt sich der für das Piezo-Biegeelement 4 mögliche maximale Verstellweg s_m von 0,1 mm. Bei dem Schnittpunkt sind die Stellkraft des Piezo-Biegeelementes 4 und die Federkraft der Rückstell-Federmittel im Kräftegleichgewicht. Die von diesem System genutzte Energie E beläuft sich auf 0,045 Nm. Die genutzte Energie entspricht dem schraffierten Feld.

Im Gegensatz dazu ergibt sich gemäß dem in Figur 4 gezeigten Diagramm zu keiner Zeit ein Schnittpunkt zwischen den beiden Kennlinien 24, 25. Die Federkennlinie 25 liegt stets unterhalb der Kraft-Weg-Kennlinie 24 des Piezo-Biegeelementes 4. Beim Ausführungsbeispiel haben die beiden Kennlinien 24, 25 die gleiche negative Steigung, so dass sie parallel zueinander verlaufen.

Wie man sieht, kann hier im Vergleich zum Stand der Technik eine wesentlich höhere Vorspannkraft F_v der Rückstell-Federmittel realisiert werden, ohne das Verstellverhalten des Piezo-Biegeelementes 4 zu beeinträchtigen. Exemplarisch ist eine Vorspannkraft F_v von 0,8 N gewählt. Insgesamt ergibt sich hier ein maximaler Verstellweg s_m von 0,16 mm, woraus eine vom System genutzte Energie (schraffiertes Feld) in Höhe von 0,064 Nm resultiert.

Bei der erfindungsgemäßen Lösung kann also die mechanische Energie des Piezo-Biegeelementes wesentlich besser ausgenutzt werden als beim Stand der Technik.

Ein ähnlicher Effekt ließe sich auch mit einer degressiven Federkennlinie erreichen, wie sie in Figur 4 exemplarisch bei 26 strichpunktiert angedeutet ist.

Aus den Diagrammen wird deutlich, dass die Federrate der Rückstell-Federmittel 8 nicht durchgängig negativ sein muss. Es wäre insbesondere eine anfängliche positive Federrate tolerierbar. Zweckmäßigerweise sollte die Federrate jedoch zumindest zum Ende des möglichen Federweges hin negativ sein.

Eine mögliche vorteilhafte Bauform für die die erfindungsgemäße Wirkung entfaltenden Rückstell-Federmittel 8 geht aus Figur 2 hervor. Hier ist der vordere Endbereich 6 des Biegeelementes 4 aus Figur 1 gezeigt, mit dem die sich am schematisch angedeuteten Gehäuse 2 abstützenden Rückstell-Feder-

mittel 8 zusammenwirken. Gezeigt ist die betätigte Stellung des Piezo-Biegeelementes 4 mit maximal ausgelenkten Rückstell-Federmitteln 8. Strichpunktiert bei 27 ist die von den Rückstell-Federmitteln 8 in der Grundstellung des Piezo-Biegeelementes 4 eingenommene Stellung gezeigt.

Die Rückstell-Federmittel 8 sind hier von einer blattfederartig flach ausgebildeten Feder gebildet, die aufgrund ihrer besonderen Gestaltung als Wendelfeder 28 bezeichnet sei.

Die Wendelfeder 28 erstreckt sich quer über das Piezo-Biegeelement 4, wobei sie mit ihren beiden einander entgegengesetzten Endbereichen 32 gehäusefest fixiert ist und mit einem längsmittigen Beaufschlagungsbereich 33 am Piezo-Biegeelement 4 anliegt. Zwischen jedem Endbereich 32 und dem Beaufschlagungsbereich 33 erstreckt sich jeweils ein Paar mäanderförmig oder wellenförmig gestalteter Federelemente 34a, 34b, die abschnittsweise miteinander verbunden sind. Diese Federelemente 34a, 34b sind in Längsrichtung unter Aufweitung und Verengung ihrer Zwischenräume federelastisch verformbar (Pfeile 35), dazuhin sind sie in der mit der Richtung der Auslenkbewegung 7 zusammenfallenden Querrichtung elastisch biegbar.

Insgesamt resultiert daraus eine Kniehebelcharakteristik, die zur Folge hat, dass sich die Wendelfeder 28 ausgehend von der in Figur 2 strichpunktiert gezeigten ausgewölbten Ausgangsstellung 27 in die in durchgezogenen Linien abgebildete aus-

gelenkte Stellung verbringen lässt, und zwar in Verbindung mit dem geschilderten Kennlinienverhalten.

Die beschriebene Wendelfeder 28 lässt sich relativ einfach herstellen, beispielsweise als Stanzteil. Darüber hinaus ermöglicht sie aufgrund ihrer flachen Bauform sehr kompakte Abmessungen des Piezoventils. Gleichwohl könnten auch andere Federbauformen verwendet werden, die das geschilderte Verhalten an den Tag legen.

Allgemein ist noch zu erwähnen, dass die Federkraft möglichst etwas geringer als die Stellkraft des Piezo-Biegeelementes vorgesehen werden sollte, damit Reibungswiderstände überwindbar sind und das System eine ausreichende Dynamik erhält.

Im Zusammenhang mit der Bauform gemäß Figur 3 hat die in beiden Verstellrichtungen wirksame Bewegungskopplung zwischen dem Piezo-Biegeelement 4 und dem Steuerglied 17 den Vorteil eines sicheren Zurückschaltens in die erste Schaltstellung trotz der in der zweiten Schaltstellung aufgrund der Federcharakteristik relativ geringen Rückstell-Federkraft.

28.05.02

G 22052 - leps
15. Mai 2002

FESTO AG & Co, 73734 Esslingen

Piezoelektrische Aktoreinrichtung

Ansprüche

1. Piezoelektrische Aktoreinrichtung, insbesondere Piezoventil, mit einem Piezo-Biegeelement (4), das bei seiner Betätigung ausgehend von einer Grundstellung entgegen der Kraft von Rückstell-Federmitteln (8) ausgelenkt wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückstell-Federmittel (8) zumindest partiell eine negative Federrate aufweisen.

2. Aktoreinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Federrate der Rückstell-Federmittel (8) zumindest zum Ende des möglichen Federweges hin negativ ist.

3. Aktoreinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Federrate der Rückstell-Federmittel (8) durchgehend negativ ist.

4. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch eine eine negative Steigung aufweisende lineare Federkennlinie (25) der Rückstell-Federmittel (8).

DE 202 10 140 U1

5. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, gekennzeichnet durch eine eine negative Federrate aufweisende degressive Federkennlinie (26) der Rückstell-Federmittel (8).

6. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Federkennlinie (25) der Rückstell-Federmittel (8) so ausgebildet ist, dass sie stets unterhalb der Kraft-Weg-Kennlinie (24) des Piezo-Biegeelementes (4) liegt.

7. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Federkennlinie (25) der Rückstell-Federmittel (8) parallel zur Kraft-Weg-Kennlinie (24) des Piezo-Biegeelementes (4) verläuft.

8. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückstell-Federmittel (8) von einer blattfederartig flachen Wendelfeder (28) mit Kniehebelcharakteristik gebildet sind.

9. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch eine Ausgestaltung als Piezoventil (1), bei dem das Piezo-Biegeelement (4) einen Aktor zur Betätigung mindestens einer einer zu steuernden Ventilöffnung (13, 13a, 13b) zugeordneten Ventilschließfläche (12, 12a, 12b) bildet.

10. Aktoreinrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückstell-Federmittel (8) unmittelbar an dem Piezo-Biegeelement (4) angreifen.

11. Aktoreinrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Ventilschließfläche (12) unmittelbar am Piezo-Biegeelement (4) vorgesehen ist.

12. Aktoreinrichtung nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Ventilschließfläche (12a, 12b) an einem vom Piezo-Biegeelement (4) zu betätigenden beweglichen Steuerglied (17) vorgesehen ist.

13. Aktoreinrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuerglied (17) wippenartig ausgebildet ist.

14. Aktoreinrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass an dem wippenartigen Steuerglied (17) beidseits der Schwenklagerstelle (18) jeweils mindestens eine Ventilschließfläche (12a, 12b) vorgesehen ist, wobei das Steuerglied (17) mit dem Piezo-Biegeelement (4) zweckmäßigerweise in beiden Verstellrichtungen bewegungsgekoppelt ist.

15. Aktoreinrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückstell-Federmittel (8) unmittelbar an dem Steuerglied (17) angreifen.

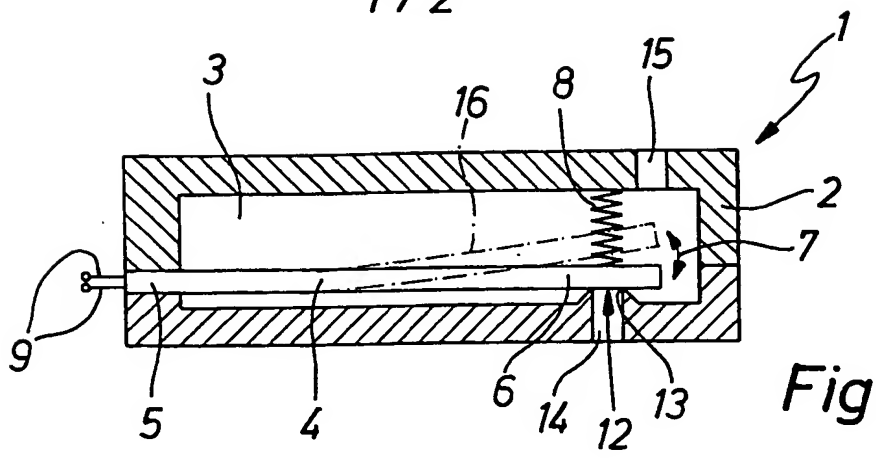


Fig. 1

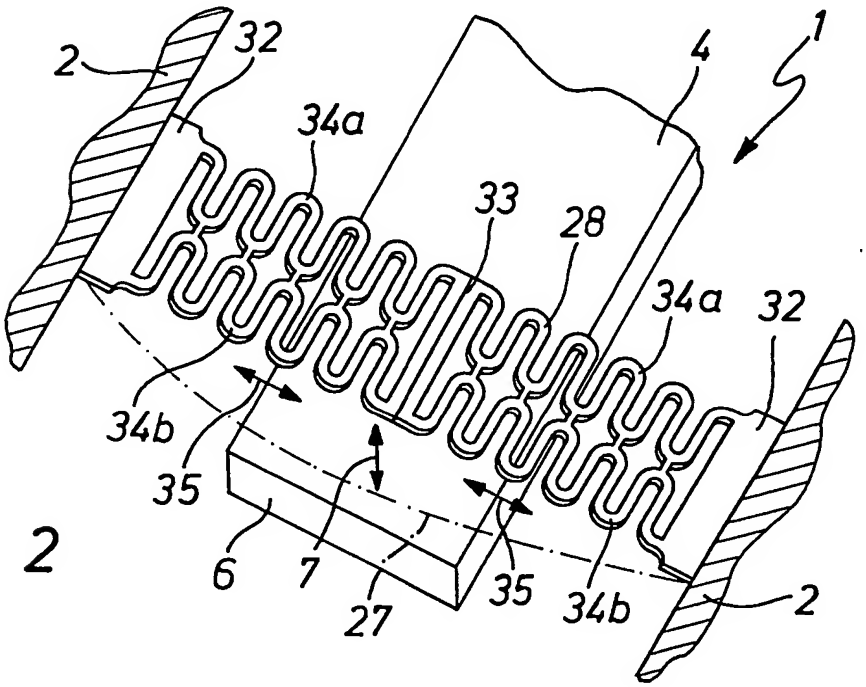


Fig. 2

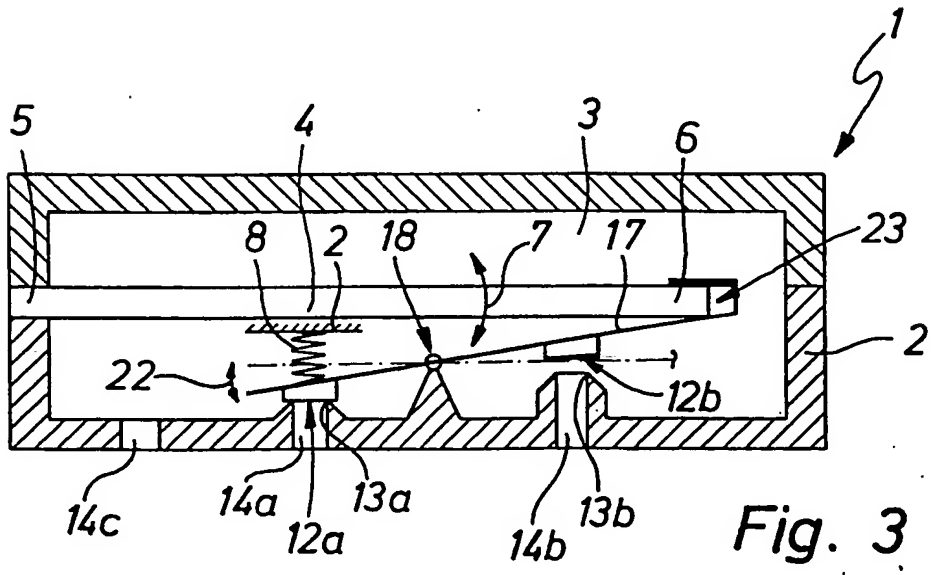


Fig. 3

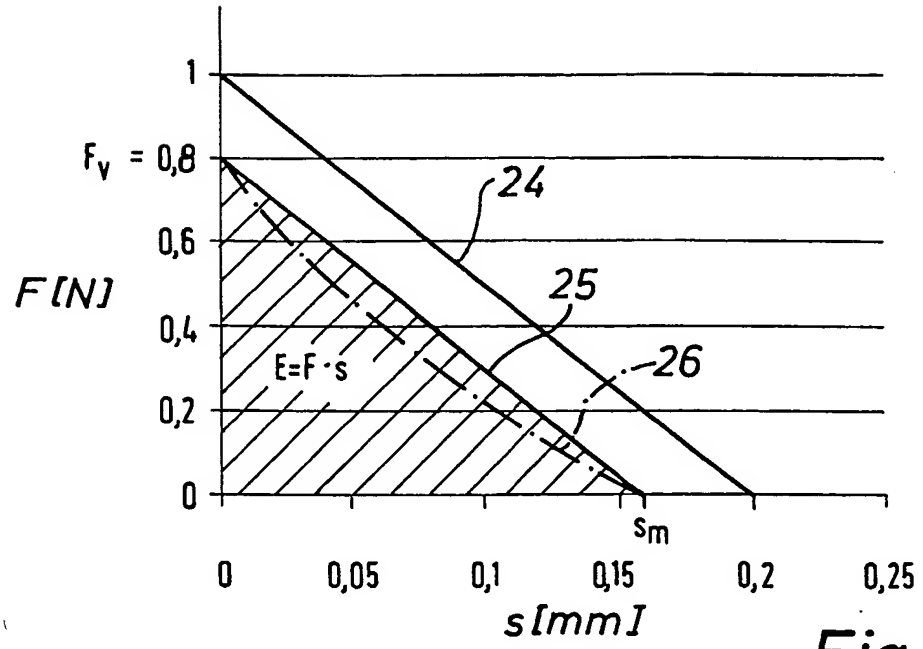

1
F_V = 0,8
0,6
F[N]
0,4
0,2
0
E=F·s
24
25
26
s_m
0
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
s[mm]

Fig. 4

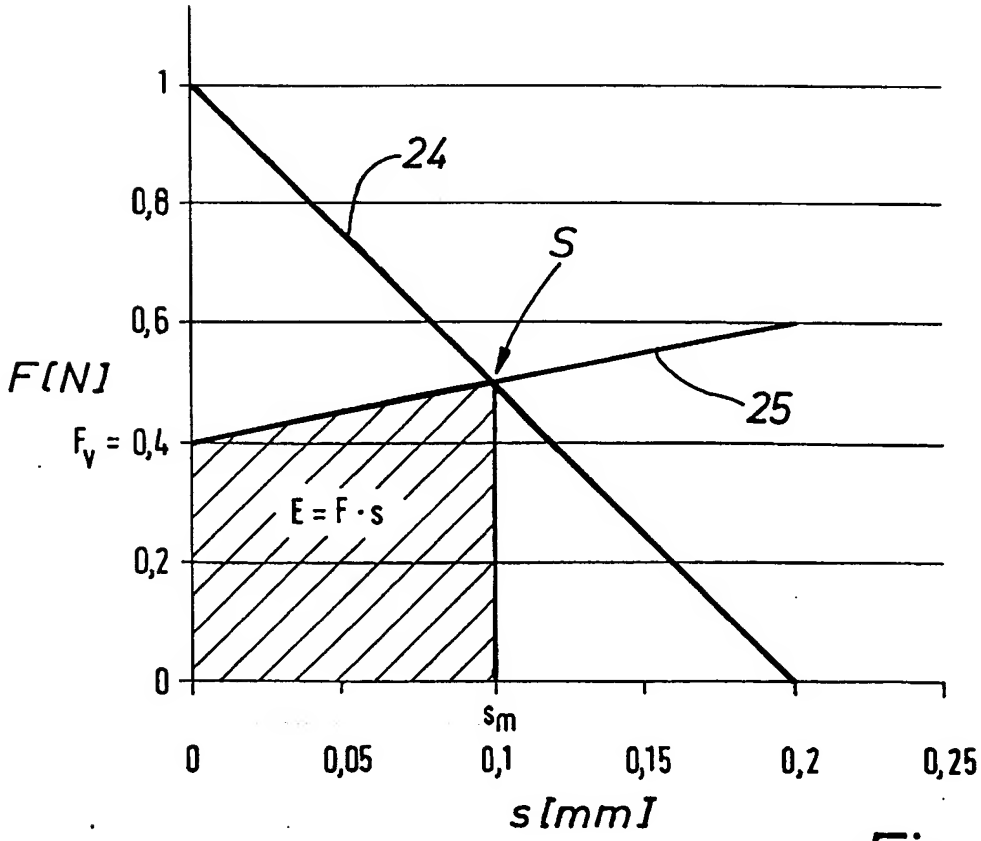

1
0,8
0,6
F[N]
F_V = 0,4
0,2
0
E = F·s
24
S
25
s_m
0
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
s[mm]

Fig. 5